

学校编码: 10384
学号: 200429045

分类号 _____ 密级 _____
UDC _____

廈門大學

硕 士 学 位 论 文

精密测量自动对焦系统研究

Research on Auto-focusing System in
High-Precision Measurement Application

魏 丽 珍

指导教师姓名: 郭隐彪 教授

专 业 名 称: 测试计量技术及仪器

论文提交日期: 2007 年 月

论文答辩时间: 2007 年 月

学位授予日期: 2007 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2007 年 月

厦门大学学位论文原创性声明

兹呈交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用学位论文的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交论文的纸质版和电子版，有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅，有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索，有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

本学位论文属于

1. 保密（ ），在年解密后适用本授权书。
2. 不保密（ ）

（请在以上相应括号内打“√”）

作者签名： 日期： 年 月 日

导师签名： 日期： 年 月

摘 要

自动对焦技术是计算机视觉、成像系统和各种精密仪器中的关键技术之一。它在日常生活、科学研究、军事领域均得到重要的应用。目前，自动对焦技术趋于完善，在理论和算法上也取得不少成果。本文在总结前人成果的基础上，着重讨论在精密测量领域中自动对焦系统的设计以及基于 PC 机和单片机控制的实现，并引入光栅测量技术，讨论该自动对焦系统在非球面精密测量应用中的实现方案。

本文包含以下内容：

- (1) 首先对精密测量技术作简要说明，接着引入光栅测量技术和自动对焦技术。
- (2) 分析了自动对焦光路设计思路，仪器选择方法和光路调试方法，并对光路误差进行详细的讨论。
- (3) 分析了 PSD 信号处理电路的设计和误差来源。
- (4) 分析了精密机械驱动装置结构的设计和实现。
- (5) 分析了基于 PC 机和单片机的自动对焦系统设计和实现。
- (6) 分析了影响对焦精度的因素及采取的解决措施。
- (7) 最后对精密测量自动对焦系统进行展望，分析今后可能的研究热点和走向。

本文提出一种将自动对焦技术和光栅测量技术应用于精密测量的新思路，设计并实现了精密测量自动对焦系统，研究结果表明：

- (1) 设计的自动对焦系统可靠性好，成本较低，可达到较高的对焦精度。
- (2) 设计的自动对焦系统采用自动对焦技术、光栅测量技术、微控制技术和闭环控制技术，可应用于精密测量领域。
- (3) 设计的自动对焦系统具备良好的人机交互界面，功能清晰且容易扩展。

关键词：自动对焦；光栅测量；单片机。

Abstract

Auto-focusing technique, as one of the main technology using in computer vision, imaging system and lots of precision instruments, has an important application in daily life, scientific research and military areas. At present, auto-focusing technique tends to become perfect in theory and arithmetic. Based on summing-up of former successful researches, the article puts an emphasis on discussion of design and realization of auto-focusing system using PC and MCU control technique. Meanwhile, put the system in aspheric measuring application using grating measuring technique and discuss its implementation scheme.

The article includes such contents as below:

- (1) Brief introduction on precision measuring technique, grating measuring technique and auto-focusing technique.
- (2) Analyze design scheme of auto-focusing light system, choosing methods of instruments and light debug detail, give detailed analysis on light error.
- (3) Analyze design of signal processing circuit and its error cause.
- (4) Analyze design and realization of precision mechanism drive device.
- (5) Analyze design and realization of auto-focusing system based on PC and MCU.
- (6) Analyze influencing factors of auto-focusing precision.
- (7) Prospects for auto-focusing system and its possible future research hotspot.

The article puts forward a method in high-precision measuring application merging auto-focusing technique and grating measuring technique. So an auto-focusing system is designed and realized in

measuring application. Conclusions can be drawn out as below:

(1) The system designed has good reliability, low cost and high focusing accuracy.

(2) The system designed can be put in high-precision measuring application as its techniques of auto focus, grating measurement, micro control and closed loop merged.

(3) The system designed has a kind man-machine interface, with function in focus, easy to be extended.

Key Words: auto-focusing; grating measurement; MCU.

目 录

第一章 绪 论	1
1.1 研究背景.....	1
1.1.1 精密测量技术.....	1
1.1.2 自动对焦技术.....	2
1.1.3 光栅测量技术.....	3
1.2 课题意义.....	3
1.3 课题研究内容.....	3
第二章 自动对焦光路.....	5
2.1 光路设计.....	5
2.2 光路调试.....	9
2.2.1 调整两透镜共轴.....	9
2.2.2 调整光束垂直入射透镜.....	10
2.2.3 调整光电探测器.....	10
2.2.4 调整工件.....	10
2.3 误差分析.....	11
2.3.1 光源对光路的影响.....	11
2.3.2 球差对光路的影响.....	11
2.4 小结.....	12
第三章 PSD 光电位置敏感探测器	13
3.1 光电特性.....	13
3.2 结构和工作原理.....	13
3.3 PSD 信号处理电路设计	15
3.4 误差分析.....	21
3.4.1 PSD 反偏电压引起的误差	21
3.4.2 背景光和暗电流引起的误差.....	21
3.4.3 PSD 及其信号处理电路噪声引起的误差	22

3.5 小结.....	22
第四章 对焦机械驱动装置设计.....	23
4.1 交流伺服驱动.....	23
4.1.1 伺服放大器.....	23
4.1.2 伺服电机.....	25
4.1.3 配线.....	26
4.1.4 电机控制.....	27
4.2 同步带轮机构设计.....	28
4.2.1 同步带传动概述.....	28
4.2.2 同步带传动设计.....	30
4.3 小结.....	35
第五章 光栅信号处理.....	36
5.1 光栅测量原理.....	36
5.2 数字细分原理.....	39
5.3 数字辨向原理.....	39
5.4 光栅信号处理设计.....	40
5.5 小结.....	47
第六章 自动对焦系统实现.....	48
6.1 下位机设计.....	48
6.1.1 自动对焦控制器.....	48
6.1.2 光栅信号处理器.....	50
6.2 上位机设计.....	51
6.3 自动对焦系统实现.....	54
6.4 自动对焦系统的非球面测量应用.....	56
6.5 小结.....	57
第七章 结论与展望.....	58
参考文献.....	59
致 谢.....	61
发表论文.....	62

附 录	63
-----------	----

厦门大学博硕士学位论文摘要库

Table of Contents

Chapter 1 Introduction.....	1
1.1 Background.....	1
1.1.1 Precision Measuring Technique.....	1
1.1.2 Auto-focusing Technique.....	2
1.1.3 Grating Measuring Technique.....	3
1.2 Research Value.....	3
1.3 Main Research Area.....	3
Chapter 2 Auto-focusing Light.....	5
2.1 Light Design.....	5
2.2 Light Debug.....	9
2.2.1 Adjustment of Lens.....	9
2.2.2 Adjustment of Beam.....	10
2.2.3 Adjustment of PSD.....	10
2.2.4 Adjustment of Workpiece.....	10
2.3 Error Analysis.....	11
2.3.1 Effect of Lamp-house on Light.....	11
2.3.2 Effect of Spherical Aberration on Light.....	11
2.4 Conclusions.....	12
Chapter 3 Position Sensitive Device.....	13
3.1 Optical and Electrical Characteristics.....	13
3.2 Structure and working principle.....	13
3.3 PSD Signal Processing Circuit Design.....	15
3.4 Error Analysis.....	21
3.4.1 Error Caused by Reverse Voltage.....	21
3.4.2 Error Caused by Background Light and Dark Current.....	21
3.4.3 Error Caused by PSD and its signal Processing Circuit Yawp.....	22

3.5 Conclusions.....	22
Chapter 4 Design of Mechanism Drive Device.....	23
4.1 AC Servo Drive.....	23
4.1.1 Servo Amplifier.....	23
4.1.2 Servo Motor	25
4.1.3 Layout	26
4.1.4 Motor Control	27
4.2 Design of Synchronization Belt-wheel.....	28
4.2.1 Transmission of Synchronization Belt-wheel	28
4.2.2 Design of Synchronization Belt-wheel	30
4.3 Conclusions.....	35
Chapter 5 Grating Signal Processing.....	36
5.1 Grating Measuring Principle.....	36
5.2 Digital Subdivision Principle.....	39
5.3 Digital Discerning Direction Principle.....	39
5.4 Grating Signal Processing Design.....	40
5.5 Conclusions.....	47
Chapter 6 Realization of Auto-focusing Control System ...	48
6.1 MCU Design.....	48
6.1.1 Auto-focusing Controller	48
6.1.2 Grating Signal Controller.....	50
6.2 PC Design.....	51
6.3 Realization of Auto-focusing System.....	54
6.4 Auto-focusing System in Aspheric Measuring Application.....	56
6.5 Conclusions.....	57
Chapter 7 Conclusions and Prospects.....	58
Reference	59
Acknowledge	61
Articles published	62

Appendix	63
-----------------------	-----------

厦门大学博硕士学位论文摘要库

第一章 绪 论

1.1 研究背景

1.1.1 精密测量技术

随着信息时代的到来,精密测量技术显得尤其重要。当今的先进制造技术是集光学、机械学、电子学、计算机控制技术于一体的综合技术,催生了众多的新工艺、新材料、新产品,不仅给人们的生产生活带来了日新月异的变化,而且给其它工业技术的进步开创新的领域、注入新的活力。超精加工技术、MEMS 技术、纳米技术等蓬勃发展对精密测量技术的发展提出愈来愈高的要求。从生产发展的历史来看,精密加工精度的提高总是与精密测量技术的发展水平相关的。由于有了千分尺类量具,使加工精度达到了 0.001 mm ,有了测微比较仪,使加工精度达到了 $1\text{ }\mu\text{m}$ 左右;有了圆度仪等精密测量仪器,使加工精度达到 $0.1\text{ }\mu\text{m}$;有了激光干涉仪,使加工精度达到了 $0.01\text{ }\mu\text{m}$ 。目前国际上机床的加工水平已能稳定地达到 $1\text{ }\mu\text{m}$ 的精度,正在向稳定精度为纳米级的加工水平发展,表面粗糙度的测量则向亚纳米级的水平发展^[1]。

现代精密测量技术是一门集光学、电子、传感器、图像、制造及计算机技术为一体的综合性交叉学科,涉及广泛的学科领域,它的发展需要众多相关学科的支持^{[2][3]}。综合当前精密测量技术的发展状况,精密测量技术普遍向着测量速度高、精度高、系统化、结构更为紧凑稳定、操作性和自动化水平进一步提高的方向发展。其测量方法研究主要有两个发展方向:一是在传统的测量方法基础上,应用先进的测试仪器解决应用物理和微细加工中的纳米测量问题,分析各种测试技术,提出改进的措施或新的测试方法;二是发展建立在新概念基础上的测量技术,利用微观物理、量子物理中最新的研究成果,将其应用于测量系统中,它将成为纳米测量的发展趋向。

在精密机械、电子以及微机电系统等产业中,精密制造技术的要求已经转化为对精密测量和定位的强烈要求。在精密测量系统中,常用的测量设备及技术有

扫描探针显微镜、光学干涉显微镜测量技术、双频激光干涉仪、超精密光栅尺、超精密测量用电容测微仪^[3]等。

1.1.2 自动对焦技术

目前，自动对焦技术日趋成熟，从不同角度出发，自动对焦可有不同分类。从原理来分，可分为测距法^[4]、对比度法、相位法和图像恢复法^[5]等；从应用时间来分可分为传统自动对焦和数字自动对焦^{[6][7][8]}；从是否从被测物体获取评价信息可分为主动式^[9]和被动式。

主动式对焦是由成像系统向成像目标发出某种形式的波（红外、激光或超声），然后用相应的器件接收成像目标反射回来的波，按照一定的算法计算当前物距，由此确定调节量，并由执行机构完成。

被动式对焦是直接利用成像目标的亮度或图像进行，不需借以成像系统的光源。

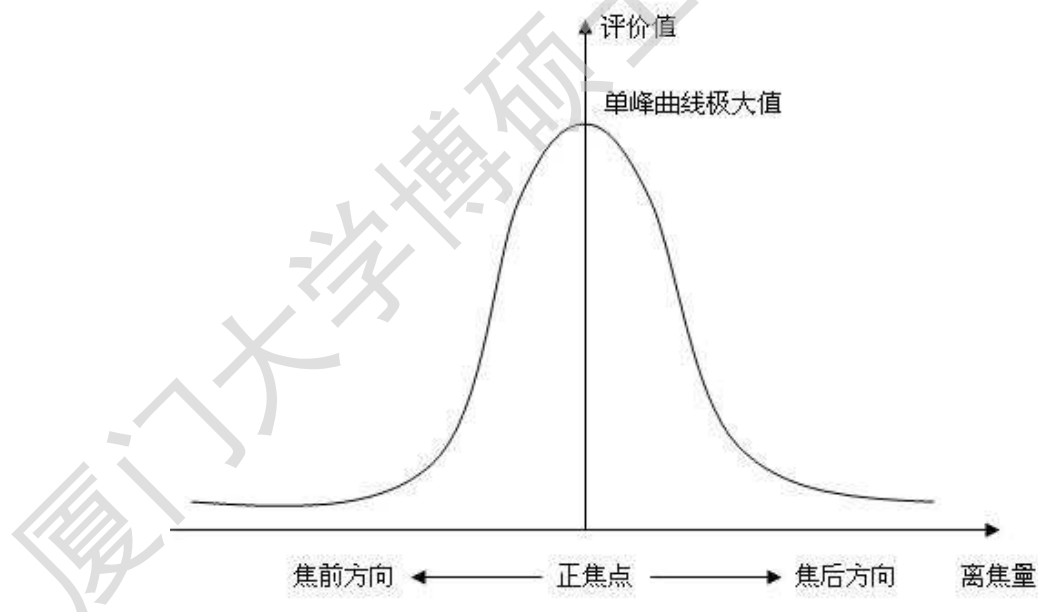


图 1.1 离焦量与评价值关系曲线

理想自动对焦评价函数^[10]具有如下特点：

- 单峰性：即只有一个极值。在正确对焦时对应于这个极值。
- 单调性：即在极值两侧，要么单调增，要么单调减。
- 极性：即要能反应离焦的极性，评价对焦位置是在焦前还是焦后。

离焦量与评价值的关系曲线如图 1.1 所示, 广泛采用爬山搜索法^{[11] [12]}寻找最佳对焦点, 实现自动对焦。

1.1.3 光栅测量技术

光栅测量^[13]技术以莫尔条纹信号为基础。1874 年由英国物理学家 L.Rayleigh 首先提出这种图案的工程价值, 直到 20 世纪 50 年代人们才制造出低成本、高精度的光栅刻度尺, 开始利用光栅的莫尔条纹进行精密测量。1953 年英国 Ferranti 公司提出了一个四相信号系统, 可以在一个莫尔条纹周期实现四倍频细分, 并能鉴别移动方向, 这就是四倍频鉴相技术^{[14][15]}, 是光栅测量系统的基础, 并一直广泛应用至今。光栅尺、圆栅编码器等相继诞生。现在光栅测量系统已十分完善, 应用的领域很广泛。光栅根据形成莫尔条纹的原理不同分为几何光栅(幅值光栅)和衍射光栅(相位光栅), 又可根据光路的不同分为透射光栅和反射光栅。纳米级的光栅测量是采用衍射光栅, 光栅栅距是 $8\mu\text{m}$ 或 $4\mu\text{m}$, 栅线的宽度与光的波长很接近, 则产生衍射和干涉现象形成莫尔条纹, 其测量原理称干涉原理。微米级和亚微米级的光栅测量是采用几何光栅, 光栅栅距为 $100\mu\text{m}$ 至 $20\mu\text{m}$, 远大于光源光波波长, 衍射现象可以忽略。

1.2 课题意义

随着各种成像设备的自动化、智能化的迅速发展, 自动对焦技术应用越来越广泛。目前, 国际上自动对焦技术比较成熟, 已在数码相机及数码摄像机中得到了普遍应用, 并且在投影系统、红外成像系统和显微成像系统中也得到广泛应用。但是应用在精密测量的自动对焦相对较少。这也是本课题的研究目的所在。

本课题将自动对焦技术和光栅测量技术应用于精密测量领域, 设计出基于单片机控制的自动对焦系统。本课题的研究对于精密测量领域的发展具有一定的探索和推动作用。

1.3 课题研究内容

本课题得到国家“863”高科技资助项目(8638042416)基金的资助, 研究“大

型光学非球面超精密加工检测技术研究”的部分内容。

本文在自动对焦技术和光栅测量技术进行探讨的基础上,设计了一种基于单片机控制的自动对焦系统。经过一系列实验和系统功能的改进,使该系统满足设计要求。

本硕士学位论文的具体内容如下:

第一章介绍课题的研究背景、研究价值,并确定课题的研究内容。

第二章设计了自动对焦光路,并探讨了调试方式及其误差分析。

第三章探讨了 PSD 位置敏感探测器工作原理,并设计出符合要求的一维 PSD 信号处理电路。

第四章介绍对焦机械驱动装置的设计,包括交流伺服驱动控制方法和同步带轮机构的设计。

第五章介绍光栅信号处理,包括光栅测量原理、数字细分辨向和计数原理及其设计实现。

第六章介绍基于单片机控制的自动对焦系统实现,包括下位机软硬件设计和上位机软件设计,自动对焦算法及如何获得自动对焦精度。经过实验证明,该系统可满足设计要求,并可应用于非球面的精密测量。

第七章总结了全文的研究内容,并对课题的后续研究进行展望。

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库